

ポンプおよび送風機内の流れに関する研究

著者	原田 正一
号	53
発行年	1968
URL	http://hdl.handle.net/10097/11002

氏 名 (本 籍)	原 田 正 一 (東 京 都)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 5 3 号
学位授与年月日	昭和43年9月18日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最 終 学 歴	昭和20年9月 東北帝国大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	ポンプおよび送風機内の流れに関する研究

(主 査)

論 文 審 査 委 員	教授 村 井	等	教授 淵 沢	定 敏
	教授 五 味	丸 典	教授 伊 藤	英 覚
	教授 本 田	睦	教授 西 山	哲 男

論 文 内 容 要 旨

ポンプおよび送風機は、取扱う流体がそれぞれ液体または気体であるために、機械構造、運転などの面では異なるが、内部における流体の運動に関しては差異はすくない。ただ、流体の振動現象に関しては圧縮性ならびに自由表面の有無が影響する。

本論文はポンプおよび送風機の内部流れに関して、従来なお解明されていなかった羽根まわりの流れおよび損失の解析、デフューザの解析ならびに設計法、内部流れにおける振動現象、および吸込口に発生するうず流れの性質などについての理論的ならびに実験的研究を行ない、これによってポンプおよび送風機等の性能を改善し、内部流れなどに関する現象を解明することを目的としたものである。

論文の内容は次の5点に要約される。(1)ひろがり流れにおける境界層の挙動をもとにしたデフューザの理論的な解明と、実験的研究を行なった。(2)翼列における二次的渦流れ等三次元流れの理論的ならびに実験的研究。(3)吸込み口におけるうず流れに関する理論的ならびに実験的研究。(4)設計点付近の特性曲線の式表示に関する研究。(5)内部流れにおける振動現象に関する理論的ならびに実験的研究。以上の5点である。

ひろがり流れに関しては、境界層の状態を考慮した任意形状デフューザの設計の基本となる理論的な考え方を示し、設計理論式を立てた。この考え方が正しいことを実証するために、二重管デフューザをこの理論式にもとづいた断面積分布のものと、相当円錐角 8° という従来の設計法にもとづくものなどについて実験した。実験の結果、流入境界層の厚さによって最高の効率を示すデフューザの形状は一致しないこと、ならびに断面積が拡大し終る位置と静圧回復を終る位置とが一致しないことがわかった。流入境界層が厚い場合にはデフューザのひろがり角は相対的に小さくとるべきである、ということが実験的にも理論的にも結論づけられた。また、断面積が拡大し終った下流の一樣断面管内における静圧上昇の大きさは実験したデフューザの範囲内では、デフューザのひろがり角が大きいほど大きくなっている。すなわち、見掛けの長さが短いデフューザも、実際の長さはもっと長いと考えるべきである。

流路が湾曲しているデフューザについては、翼列の設計法をデフューザの設計に応用するための理論を示し、代表的な湾曲デフューザについての実験を行って、平均ひろがり角と面積比との積が設計上の限界を表わすパラメータとなることを示した。

次に、翼列における二次流れについて、二次元翼列実験の場合におけるよりも更に複雑な実際の羽根まわりの流れに発生する二次流れについて、理論および実験による研究を行った。すなわち、実際の羽根においては、上流における速度の変化が、相対速度の変化としてよりもむしろ相対角度の変化としてあらわれてくる。このことから、軸流機の内部流れなどを考える場合には、翼幅方向に流入角度が一樣でない翼列における二次流れについての研究が必要とされる。このような実際の翼列における二次流れについて理論的な解明を行い、また実験的にこのような二次流れによる損失を測定した。理論解析による近似解としては、流入速度の一樣でない場合の二次渦と相似な形の解が得られた。

これらの二次流れは翼間の流路に生じるので、流路渦と呼ばれるのが適当である。これに対して翼幅方向における循環が一樣でないため生じるうず流れは後流渦と呼ばれている。この後流渦と流路渦との渦度の関係についての一般理論を導いて、量的な関係を明らかにした。

これらの理論をもとにして、ある特定の軸流速度分布における翼列の圧力上昇の値、および翼列前後における軸流速度分布の変化などを理論計算により求めた。また、同様な条件において実

際の翼列に発生する二次的損失の大きさを実験と理論により求めた。

実験としては翼列における三次元的な相対流れを、翼列実験として再現する方法を用い、理論においては各種の二次的損失の大きさを上記の理論をもとにして計算し、その合計が実験において測定された二次的損失の極大値に相当するとして対比した。その結果、三次元的な流れにより翼列に発生する大きさを理論的に解明することができた。

ポンプおよび送風機の吸込口において流れが乱されたならば、全体の性能低下を来すために吸込口の整形は必要とされている。しかしながら、減速流れが境界層のはくりを起すおそれがあるのにくらべて、増速流れでははくりのおそれが無いために、吸込口の流れについての研究はポンプ吸込管の空気まき込み以外についてはあまり例がない。

吸込口に発生するうず流れのなかで、最も基本的な現象とされているのはいわゆる bath-tub vortex である。これは容器内に静止している液体を底面の排水口から静かに流出させるとき、排水口の中心軸まわりに発生するうずのことである。容器、容器内の液体および観測者はいずれも地球に対して静止しているので、この bath-tub vortex は地球の自転によるコリオリの力にもとづくということが定説になっている。事実うずの向きは地球の自転の向きと一致するが、うずの強さはコリオリの力のみを原因とする理論計算の値より大きくなる。そこで本研究においては、容器内の流体の量が減少して、容器の底面に沿って排水口に向かって流れるとき、底面まきつによる渦度と地球の自転とによって二次うず流れが生じることを考慮して定量的な理論解析を行った。コリオリの力とこの二次うず流れの影響を加え合わせることにより bath-tub vortex に関する理論を完全なものにすることができた。この理論による計算値から、実験により測定された浮きの角速度の値を証明することができた。

Bath-tub vortex の予備的な実験として、容器内の液体が排水口に向かって流れるとき、その径路が前記の理論、すなわち二次うず流れの発生を妥当とする形状をしていることを実証するために、実験を行った。また、容器内の液体が排水開始時に角速度をもっている場合についても理論式を求め、実験による浮きの角速度と計算値とを比較して、排水時における初期角速度と、浮きの角速度すなわちうずの角速度との関係は理論的に予測された通りであるが、角速度の絶対値は理論計算値よりも小さいことを明らかにした。

一方気体吸込管の場合には、吸込口におけるうず流れは液体と同様な形では発生しない。自由大気から直接開口へ吸込む場合は、十分大きな水槽の深い位置から吸込む場合と同様に、吸込口の近くの流れが点吸込みまわりの流れに近くなり、うずは弱い。これに対し気体吸込口に直面して吸込管軸に垂直に平板の如きものを置き、吸込口への流入を制限すると共に、境界層による二次うず流れの影響を強めることにより、吸込管内にうず流れを作ることができる。この場合も地

球の自転が原因となっているから、吸気管の向きを変えて地球の自転の影響の程度を知ることができる。代表的な例としては、赤道上の鉛直管に相当する吸気管において、二次うず流れの影響のみによる流入角度の不整を測定によって示すことができた。

ポンプおよび送風機の全体にわたる問題として、設計点付近の特性曲線の式表示、ならびに全流量範囲にわたる内部流れの振動現象がある。前者については、羽根に相対的な速度線図の変化が及ぼす圧力-流量曲線の変化への影響を考慮して、無次元表示の理論式を求めた。理論式を導く条件として、軸流機については翼列からの相対流出角度が軸流速度が変わっても不変であるという仮定を置いてあるから、この仮定の成り立つような軸流送風機について測定値と計算曲線とを比較し、3例の試作軸流機に関しては満足できる式表示ができた。

また、速心機についても軸流機と同様の考え方により特性曲線の表示式を求め測定値と比較した。その結果無衝突流入状態における流量を正しく見積ることにより正確な表示が可能となった。

ポンプまたは送風機を含む管路系における振動現象としては、サージング、水槌現象、および旋回失速が知られている。しかしながら、流体機械においては定常な安定運転中においても、圧力および流量の変動が観測される。

このような安定運転時における振動現象を、ポンプまたは送風機を含めて理論的に解析し、実験的に求めた定常運転時における圧力の脈動と比較した。またサージングおよび旋回失速と呼ばれる現象について、流路の固有振動との関係を調べた。

その結果、旋回失速は翼間流路における流体の発振現象として認識され、失速域の数は翼間流路における流体の固有周期と、翼の回転による失速域の伝播とが同期するような状態として定まることが示した。

最後に、流体系の振動の安定判別をRouthの方法により求め、二つの実験例について実験結果と比較して、いずれの場合においても判別の精度は高いことを示した。

本論文においては、以上のようにポンプまたは送風機を含む管路系において、性能向上と安定な運転を保つために必要であって、これまでに解明されていなかった事象に関する理論を示し、これが実際の現象を定量的あるいは定性的によく説明していることを実験によって証明した。

審 査 結 果 の 要 旨

ポンプおよび送風機の性能は近來の研究によって非常に向上したのであるが、同時に大容量化される傾向も強くなり、それに伴って効率を更に向上すること、使用可能な流量範囲を拡大し、同時に部分流量における性能を向上すること、運転の安定性と信頼性を向上すること等多くの問題が改めて重要な課題として解決を要望されている。

本論文はこれらの問題を解決することを目的として、ポンプまたは送風機自身およびその前後の管路の内部における流れを明らかにし、よって上記の特性向上を図るために行なった研究を取まとめたもので、7章より成っている。

第1章は緒論である。

第2章は広がり流れに関する研究である。任意の断面形状をもつデフューザおよび流路の湾曲しているそれについての設計理論を、境界層はく離の条件をもとにし、新しいパラメータを導入して展開し、二重管および偏流広がり管の実験を行なって、それぞれ本設計理論の妥当性を確かめている。

第3章は二次的損失に関する研究である。軸流機械羽根車羽根への流入速度の非一様性の影響は主として迎え角の変化によるものであることを指摘し、そのために生ずる二次的うずを理論的に解明した。また、直線翼列における二次的うずの二要素である後流うずと流路うずとの相互関係を理論的に明らかにした。これらの理論によって、実験的に得られた二次的損失の組成と各成分の大きさの相互関係とを明らかにすることができた。

第4章は吸込み管のうず流れに関する研究である。吸込み管に発生するいわゆる bath-tub vortex の生因は、従來定説とされている地球の自転によるコリオリの力の他に、境界層内のうず度と地球の自転とによる二次的うず流れも存在することに着目して、理論的に初めて定量的な解析に成功している。また、水槽吐出し口における旋回速度を測定し、上記理論とのよい一致を得ている。

第5章は設計点付近の特性曲線に関する研究である。羽根車羽根からの相対的流出角度は設計状態におけるそれから変化しないことを仮定して、揚程-流量曲線を無次元表示した。軸流機械3例、遠心機械2例について、実験と理論とのよい一致を得ている。

第6章は非定常流れに関する研究である。いわゆる安定な運転状態にあっても認められる管路内の圧力および速度の変動の周期は、機械を含む管路系の固有振動の周期と一致することを理論的に示した。とくに軸流機械の（旋回失速速度） \times （失速域の数）を振動数に換算すると、羽根間流路における流体の固有振動数と一致することを示し、実験を行なって理論とのよい一致を得

ている。さらに、この理論に基づいて新しい安定判別法を提示し、これが軸流ならびに遠心機械の実験例と高い精度で一致することを示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は一連の理論的ならびに実験的研究によって、ポンプおよび送風機の性能向上、運転可能な流量域の拡大、運転の安定性と信頼度の向上等に資したもので、流体機械学ならびに流体力学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。